

Estructuras arquitectónicas de madera laminada encolada

JOSE MARIA CALAMA RODRIGUEZ, DR. ARQUITECTO
JUAN JOSE MARTINEZ GARCIA, DR. INGENIERO DE MONTES

RESUMEN. *La madera laminada supone una posibilidad de utilización de ésta como material estructural. Gracias al desarrollo de esta técnica se abren unas posibilidades que convierten a la madera en un material duradero, fuerte y versátil, hasta hace poco impensable.*

SUMMARY. *Laminated wood presents possibilities for its use as structural material.*

Thanks to this development, what was once unthinkable is now a real possibility: the use of wood as material which is strong, durable and versatile

INDICE GENERAL

*0. Consideraciones previas 1. El concepto de laminación 2. Propiedades de la madera laminada encolada
3. Aplicaciones estructurales arquitectónicas 4. Tipología de estructuras de madera laminada 5. Estructuras trianguladas y espaciales 6. Uniones de elementos estructurales*

0. CONSIDERACIONES PREVIAS

Las técnicas tradicionales de ensambles de las estructuras de madera, que han permanecido prácticamente invariables desde la Edad Media, han sido las causantes de que este material haya perdido interés, en nuestro país, en beneficio de nuevos materiales de construcción, como el acero o el hormigón armado, mejor adaptados a la época industrial, que las construcciones artesanales de madera.

Para intentar competir con estos materiales, a finales del siglo pasado, se desarrollaron nuevos sistemas estructurales con los que consiguieron obtener vigas de gran longitud, por medio de la utilización de secciones a base de láminas de madera uni-

das con colas de caseína, que aseguraba la unión rígida entre ellas.

Además, el retardo sufrido en el nivel técnico ha sido subsanado gracias a los nuevos procesos de producción, mas racionalizados, a las actuales técnicas de ensamble mas perfeccionadas y al desarrollo conseguido en la fabricación de nuevas colas, especialmente a base de resinas sintéticas mas resistentes a los factores climáticos, consiguiendo devolver a la madera su consideración de material estructural duradero, fuerte y versátil.

En la época actual, con la Arquitectura alejada de la euforia de la post-guerra, se toman como valores los ecológicos, energéticos y el retorno a la naturaleza, por lo que los aspectos emocional y estético de las estructuras visibles de madera se

presentan como factores de revalorización del material. Así, por ejemplo, en lo referente al aspecto energético es de destacar que la cantidad de energía necesaria para obtener elementos de madera, es considerablemente menor que la utilizada para la obtención de acero o los conglomerantes del hormigón.

Otra característica que considerar, desde el punto de vista estructural, es el comportamiento de la madera ante el fuego, pues aunque la madera es un material inflamable, con medidas de protección tanto químicas como constructivas, en caso de incendio, las secciones de las masas de los elementos estructurales pierden más lentamente sus facultades que cuando están constituidas por otros materiales.

A pesar de lo anterior, las ventajas técnicas pueden resultar insuficientes ya que, en principio, las estructuras de madera no resultan mas económicas que las de otros materiales, siendo necesaria una infraestructura de producción, que conlleve nuevos conceptos de diseño para obtener construcciones económicas y competitivas.

A ello tenemos que añadir que la gran mayoría de los técnicos españoles no están experimentados en el dominio del diseño y los controles de ejecución de las estructuras de madera. Y si las comparamos con el acero y el hormigón, la enseñanza y la investigación sobre madera, como material estructural de edificación, son insignificantes.

1. EL CONCEPTO DE LAMINACIÓN

La madera laminada encolada es aquella que se obtiene al subdividir la pieza de madera aserrada en láminas de espesor constante, mediante cortes al hilo, y posteriormente superponerlas y adherirlas por sus caras con resinas sintéticas bajo presiones de 30 a 50 kg/cm². Las piezas mantienen la dirección de las fibras paralelas entre sí.

Las uniones longitudinales se realizan practican-

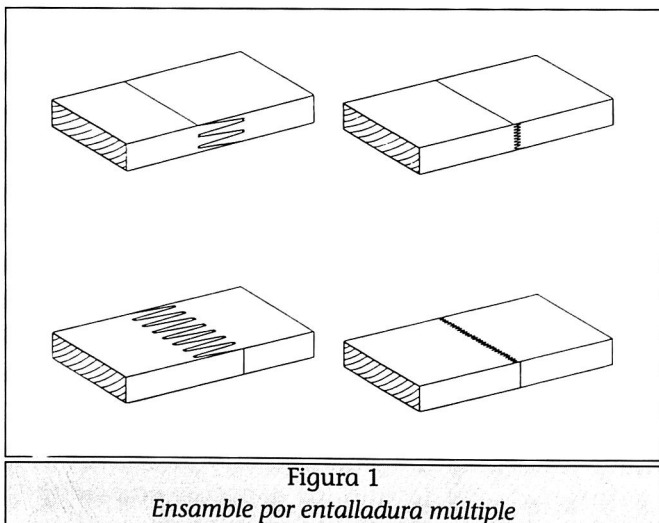


Figura 1

Ensamble por entalladura múltiple

do en las testas ensambles en entalladura múltiple (figura 1), obteniendo elementos macizos de múltiples configuraciones y dimensiones.

Las resinas sintéticas utilizadas forman una lámina continua que hace las veces de fibra cruzada, impidiendo los movimientos de la madera. Con este proceso, además, se mejora su estabilidad volumétrica y su anisotropía, sin alterar sensiblemente su estructura fibrosa. Con la laminación se pretende también aprovechar la madera que, por su calidad o dimensiones, no pueden ser usadas como madera maciza. Suele ser útil el formar las piezas con tablas de distinta especie y no solo porque la mezcla de especies proporciona el consiguiente juego de colores, sino por obtener una sección resistente adecuada a la necesidad estructural.

Además, la variedad de formas, rectas o curvas, con que pueden fabricarse, y la solidez con que resultan las estructuras, contribuye a que la cualidad estética se destaque, sin menosprecio de sus cualidades técnicas.

No hay que confundir la técnica del laminado con la seguida en los tableros **contrachapados**, pues aunque haya similitudes, existen diferencias:

- En la madera laminada todas las láminas presentan las fibras en la misma dirección, mientras que en el tablero contrachapado se cruzan las fibras en las distintas chapas, por lo que el tablero debe estar formado por un número impar de ellas.
- En el tablero contrachapado el máximo en la forma laminar no suele superar espesores de 40 mm, mientras que en la madera laminada no hay limitación concreta.

2. PROPIEDADES DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Con respecto a la madera aserrada natural, la madera laminada puede aumentar entre un 45 y un 50% su densidad, llegando a tensiones de rotura a compresión y a flexión que duplican las alcanzadas por aquella, las de tracción se elevan hasta un 50% y la resistencia a cortadura y hendibilidad llega a ser hasta cinco veces superior.

a) Ligereza y resistencia. El peso específico de las maderas que normalmente se utilizan para el laminado (coníferas y algunas frondosas) se sitúa en torno a los 500 kg/m³, lo que, unido a su buena resistencia a tracción, le confiere una importantísima reducción de peso para la misma capacidad portante y luz, en comparación con el acero (de 7.850 kg/m³) y el hormigón armado (de 2.500 kg/m³).

Gracias a esta disminución de peso en los elementos, se reduce considerablemente el coste, ya que se aceleran los tiempos de montaje y se economizan medios de elevación. Siendo una alternativa dentro de los procesos prefabricados, al reducirse

considerablemente los costes del transporte. A esto hay que añadir, que esta excelente relación resistencia/peso, permite cimentaciones mas ligeras o edificar en terrenos menos resistentes.

Además, en el proceso de laminación, se sanean las láminas elementales que conformarán la pieza, permitiendo obtener mejores características resistentes, al adaptar la calidad de las láminas al comportamiento del elemento estructural.

b) Durabilidad y estabilidad a los agentes agresivos. De sobra es conocido que la madera, en general, es un material resistente a los agentes corrosivos, además de inoxidable, por lo que, si las disposiciones constructivas están bien proyectadas, precisa de muy escaso mantenimiento.

No debemos olvidar el carácter biológico de la madera, lo que nos obliga a prever una protección y un mantenimiento. Ahora bien, si el proceso de ejecución es adecuado y los productos protectores, para cada caso, son los idóneos, las construcciones de madera laminada pueden tener, sin dificultad, una vida útil del orden de 50 años. Además, comparativamente con otros materiales la madera laminada puede considerarse, desde el punto de vista

de la durabilidad, como un material fiable, al envejecer sin sufrir alteraciones que modifiquen sus propiedades.

2.1 Ventajas de la madera laminada

En realidad en el punto anterior hemos definido una serie de cualidades que pueden considerarse como ventajas del material, no obstante destacamos, desde el punto de vista constructivo:

- 1) **Posibilidad de fabricar elementos constructivos de grandes dimensiones**, a partir de piezas pequeñas y de dimensiones comerciales.
- 2) **Obtención de grandes piezas de madera sin fendas (grietas) de secado.**

El secado de maderas de grandes dimensiones presenta serias dificultades. Unas son de tipo económico, pues al ser lento, resulta forzosamente más costoso; y otras son técnicas, y muy difíciles de superar, como es el evitar la aparición de fendas.

En la madera laminada se obtiene esta doble ventaja, pues se logra el secado rápido y eficiente, sin complicar la posterior fabricación de las

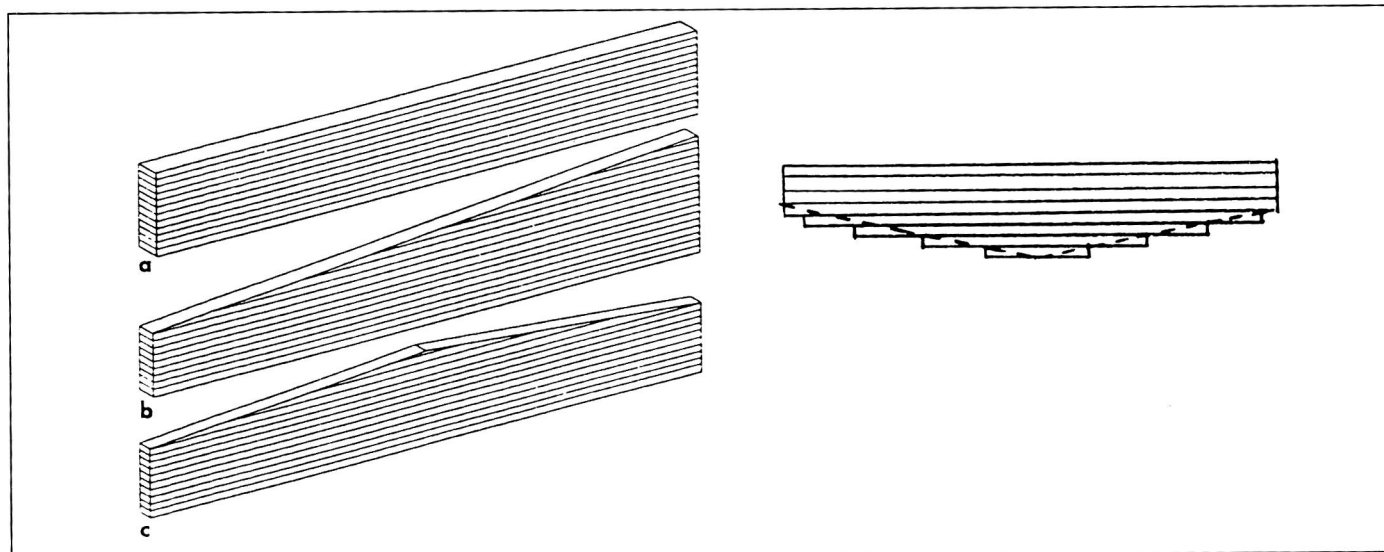


Figura 2
Viga de canto variable

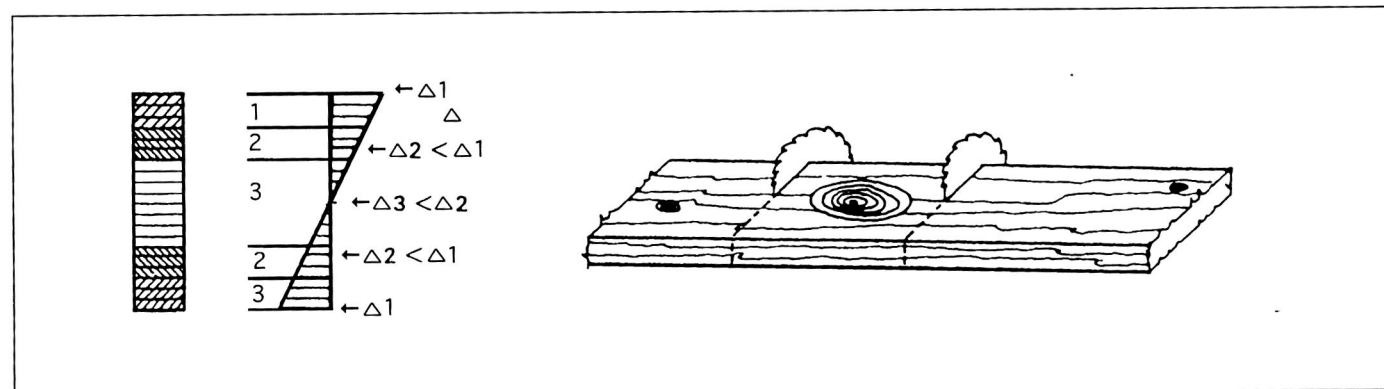


Figura 3
Utilización de la madera en función de su calidad

estructuras, ya que las láminas pueden ser lo delgadas que se desee. Y, además, se consigue un elemento con un comportamiento homogéneo, ya que durante la fabricación se sana cualquier posible deficiencia de las laminas correspondientes.

3) Permite proyectar elementos de sección no uniforme. La sección variable se consigue mediante el empleo de un número diferente de láminas de madera en los distintos tramos de la estructura, de acuerdo con las necesidades resistentes de los mismos (figura 2).

4) En cierto modo puede utilizarse madera de calidad inferior, en cuanto a resistencia se refiere. La aplicación de los conocimientos de resistencia de materiales a una sección determinada de cualquier pieza, permiten situar convenientemente las láminas de madera de que dispongamos, conforme a sus características resistentes.

Así, en función de la calidad de la madera, podemos utilizar la mejor en las zonas expuesta a las máximas tensiones y dejar la de peor calidad para las zonas de tensiones mínimas (figura 3).

La economía puede conseguirse disminuyendo la calidad de las láminas, si se emplea una sola especie de madera o distribuyéndolas con arreglo a sus características mecánicas si empleamos especies diferentes. Esto significa que bajo el punto de vista de la resistencia se consigue un mejor aprovechamiento de la madera.

5) Eliminación de los defectos de la madera.

Por un lado, podemos eliminar los **nudos muertos**, las fendas, las alteraciones de color o las zonas

donde se desvian demasiado las fibras. Pero, además, si tenemos una viga de madera con dos nudos, como en el caso de la figura 4.a, en la que se aprecia que las secciones **AB** y **CD**, están disminuidas en **d1** y **d2** respectivamente. Si dividimos esta pieza en láminas y distribuimos los nudos resultantes, podemos reconstruir la sección resistente, corriendo los elementos **ab** y **cd**, y colocándolos en **a'b'** y **c'd'**, respectivamente (figura 4 b). Disponemos así de una pieza cuyas características de resistencia mejoran considerablemente las de la primitiva, al haber aumentado su sección resistente en **d1-d3** o **d2-d3**. Y como estamos en condiciones de disminuir **d2** a nuestro arbitrio, es indudable que igualmente podremos aumentar en forma acompasada la sección resistente.

6) Construcción de piezas con curvatura y sección resistente dadas, aprovechando al máximo la madera y sus calidades de resistencia.

Recordemos que la madera presenta sus mejores características de resistencia en el sentido de sus fibras.

Podríamos seguir añadiendo ventajas como su versatilidad o su propiedad aislante. Hay que pensar que la madera es uno de los materiales mas dúctiles y fáciles de trabajar que existen. Las herramientas y los útiles, simples y habituales, permiten, a costos reducidos, fijar las canalizaciones y acometidas de instalaciones, mas adecuadas. recordemos que, la madera, por su estructura anatómica y su composición, presenta una bajo grado de conductibilidad térmica y eléctrica, con el consiguiente aho-

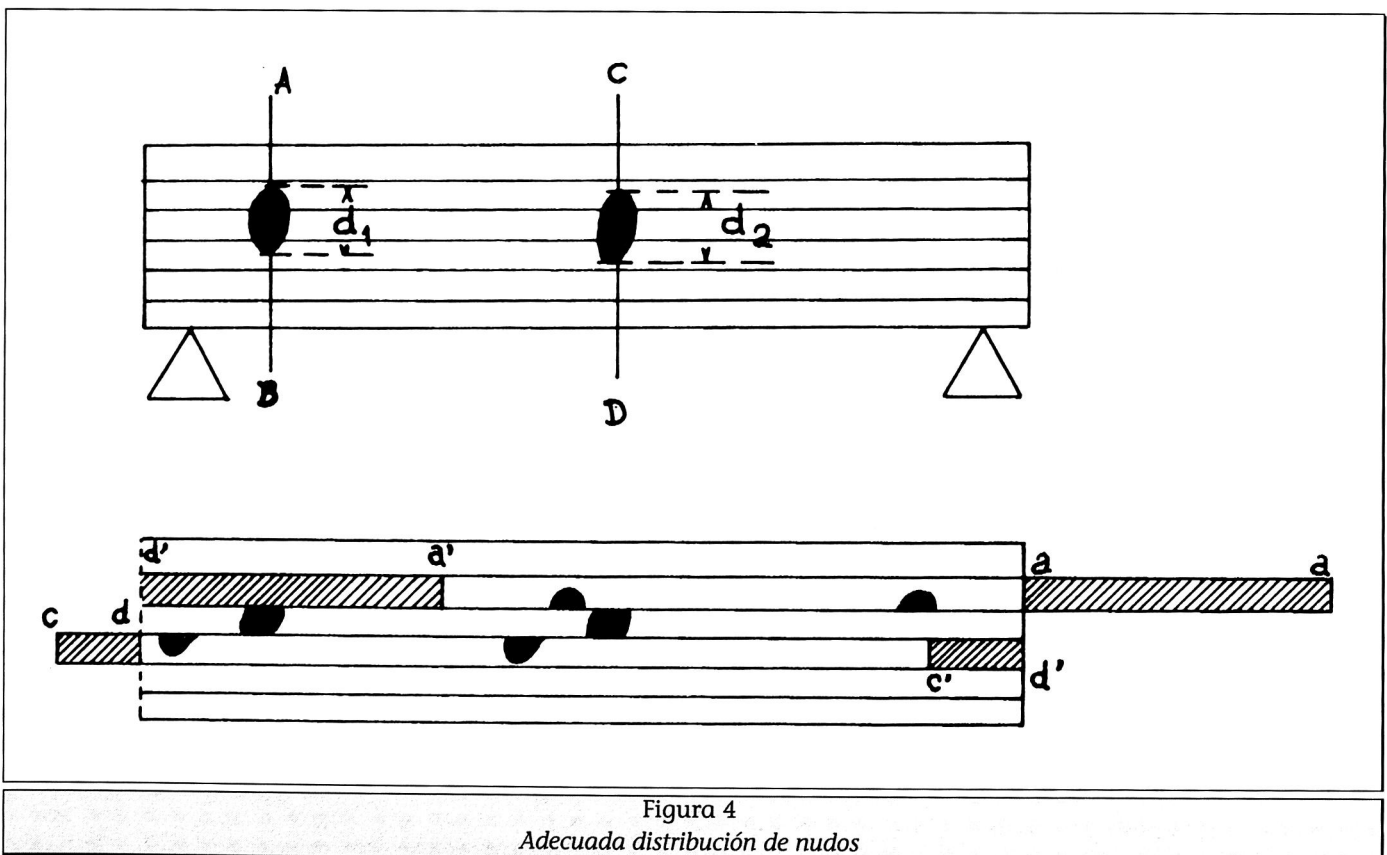


Figura 4

Adecuada distribución de nudos

rro de corrientes de dispersión, ausencia de cargas electrostáticas, eliminación de condensaciones, elevada resistencia al fuego y ausencia de puentes térmicos. Su respuesta acústica es mejor que la de otros materiales estructurales, siendo recomendable en aquellos edificios que precisen de este tipo de cualidad.

Para finalizar, a todo lo anterior añadiremos que, a las estructuras de madera laminada, se les puede aparejar cualquier otro material allí donde su uso sea requerido: pilares o zapatas de hormigón, acero, vidrio, etc. de modo simple y sin la necesidad de auxilio de técnicas especiales.

2.2 Estabilidad ante el fuego

Otro aspecto de interés, a considerar en la ejecución de estructuras de madera laminada, es su comportamiento ante el fuego. La madera es un material combustible y por ello suele ser patente cierta aversión y perplejidad ante su uso como material estructural. Sin embargo multitud de investigaciones han demostrado, con severas pruebas, que la madera laminada puede considerarse como uno de los materiales mas seguros en caso de incendio.

Bajo la acción del fuego se produce una carbonización superficial que actúa de aislante, impidiendo la penetración del oxígeno del aire en las capas interiores, lo que reduce, de manera considerable, la propagación del fuego.

Además, no se produce dilatación o deformación alguna con el aumento de la temperatura al tratarse de un material no conductor, por lo que en estas circunstancias las estructuras de madera pueden mantener su estabilidad durante mucho mas tiempo que otros materiales, facilitando de esta manera la evacuación de personas, equipos y material almacenado.

Los laboratorios franceses del CSTB han realizado ensayos de resistencia al fuego que indican una propagación del fuego de 0,7 mm por minuto, o lo que es igual 4 cm cada hora.

3. APLICACIONES ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICAS

Las aplicaciones más características de la madera laminada encolada están en las edificaciones de grandes luces y de uso público, como son: polideportivos, piscinas cubiertas (figura 5), centros comerciales, locales de exposición o de reunión. En las piscinas cubiertas presentan una especial adecuación por su buen comportamiento en ambiente agresivo y en la disminución del mantenimiento. Y es apropiada para las estructuras de fábricas, talleres o instalaciones agrarias en ambientes agresivos cercanos al mar.

En las obras de rehabilitación tiene también un campo abierto, habiéndose empleado para la sustitución de estructuras de cubierta y ampliación de alturas de edificios.

También en la construcción de viviendas se están consiguiendo muchos avances gracias a los nuevos conceptos de prefabricación y montaje rápido, aunque persiste el agravante de los pocos ejemplos de concepción original. No obstante, hay que reconocer, a la madera, sus múltiples expresiones arquitectónicas en función del tipo de estructura seleccionada. Las estructuras visibles favorecen el enriquecimiento geométrico de las fachadas y de los espacios interiores.

En la época presente los diseños de viviendas deben asegurar un consumo mínimo de energía, a la vez que permitir la utilización del máximo volumen construido. El uso de todo el volumen posible requiere una **piel**, correctamente aislada en los cerramientos verticales e inclinados. El desarrollo de la energía solar pasiva exige la integración de superficies planas en los volúmenes del edificio, que requieren nuevas soluciones técnicas y de organización de los espacios.

Las actuales tecnologías de construcción en madera, permiten resolver estas nuevas exigencias en condiciones óptimas, por lo que la alternativa del empleo de la madera laminada, frente a otras estructuras de acero, hormigón armado o ladrillo, es, cada vez mas, objeto de valoración, ya sea desde el punto de vista económico, de resistencia o de mantenimiento, proporcionando respuestas adecuadas a las exigencias de nuestro tiempo.

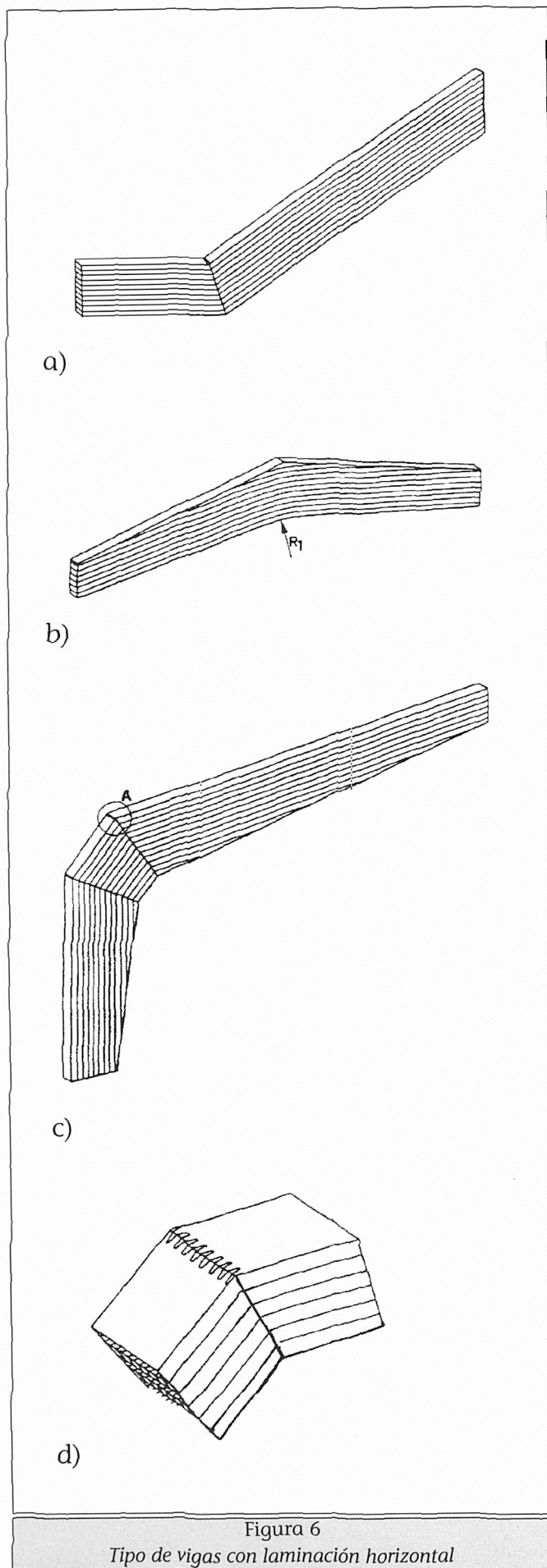
4. TIPOLOGÍA DE ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA

Por lo general, el proceso de diseño de una estructura se desarrolla a partir de:

- La configuración general de la estructura
- El uso a que se destina la construcción



Figura 5
Estructura de madera laminada en piscina cubierta



- Su localización o ubicación
- La elección del material
- El sistema estructural
- El método de ejecución

Una de las cualidades de la madera laminada es su adaptación a cualquier tipología estructural, por lo que su utilización suele decidirse en el análisis conjunto de los criterios expuestos anteriormente.

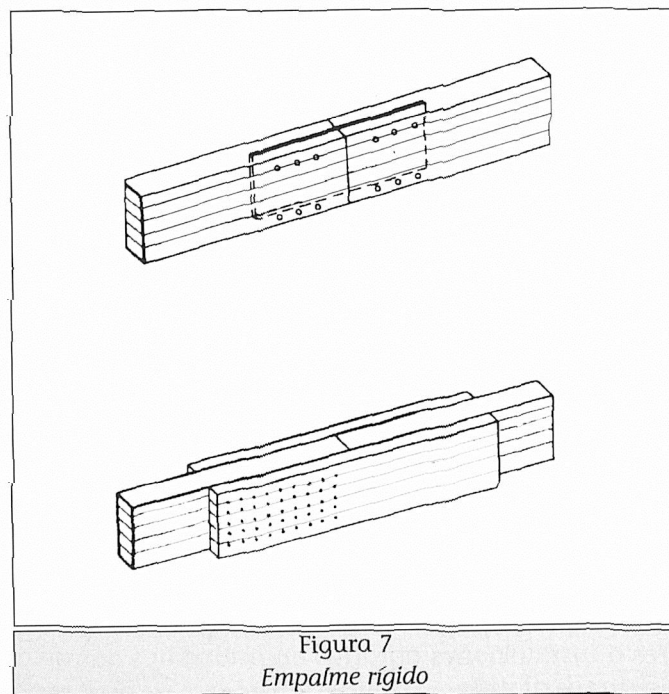
Hay que considerar que, por su fabricación, la sección transversal de los elementos de madera laminada es generalmente de forma rectangular, en la que se busca una relación h/b elevada con el fin de obtener una inercia máxima. Además, las anchuras habituales dependen de las dimensiones comerciales de la madera aserrada, siendo lo mas frecuente emplear piezas de 12, 14, 16, 18 y 20 cm.

La elección de la forma y la sección de la pieza suelen ser elementos importantes desde un punto de vista económico del proyecto, por lo que a continuación pasamos a analizar algunas de las tipologías mas destacadas de entre gran número de disposiciones estructurales que pueden realizarse con madera laminada o sus derivados.

A) Vigas de madera laminada

Lo normal es que estén resueltas con laminación horizontal, es decir constituidas por láminas de madera encoladas por tabla y en las que las cargas actúan normalmente a los planos de laminación.

Como hemos señalado, cualquier tipo de estructura con geometría complicada tiene su solución en madera laminada debido a la posibilidad de fabricación de los distintos elementos con sección y longitud variables. Problema que, por ejemplo, en el hormigón debe subsanarse en función de complicados encofrados y en acero encuentra limitaciones por los perfiles estandar. Así, las vigas no solo pueden fabricarse de sección constante o variable, sino



que además pueden obtenerse piezas quebradas (figura 6a), a dos aguas con su parte inferior curva (figura 6b) o de sección variable para formar semi-pórticos (figura 6c), etc; las uniones en el quiebro se realizan por entalladura múltiple (figura 6d).

Con este tipo de vigas pueden resolverse estructuras simples, sobre apoyos, con luces de hasta 20 m. Y cuando las luces son importantes, del orden de los 35 m, es mas práctico utilizar las vigas de sección variable, en las que la masa de la madera se adapta a la curvatura del diagrama de esfuerzos. Para alcanzar estas longitudes se prevén uniones rígidas, a realizar en obra, con el fin de facilitar el transporte de las piezas (figura 7).

En relación con la sección rectangular, los perfiles en doble T o los perfiles **en cajón** presentan momentos de inercia y de resistencia mas elevados, empleando menos cantidad de material. También estas secciones pueden ser realizadas en vigas de madera laminada combinada con otros productos derivados.

Las vigas de alma delgada (figura 8) están compuestas por paneles aglomerados o contrachapados, de gran resistencia a flexión, disponiéndose en las alas las láminas de madera encolada.

El alma puede estar, así mismo, constituida por dos o tres tableros de madera laminada dispuestas con las fibras cruzadas en ángulos de 10° y 5° y encoladas unas contra otras (figura 9) colocando

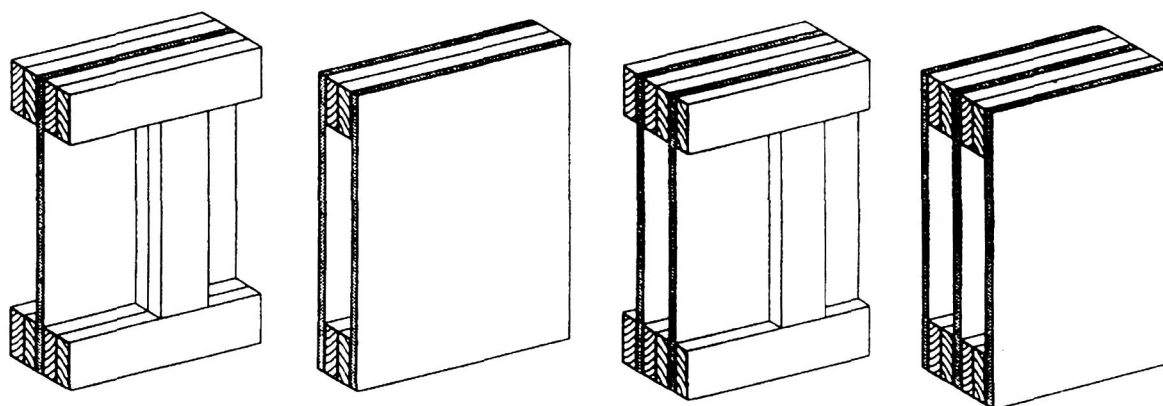


Figura 8
Vigas de alma delgada

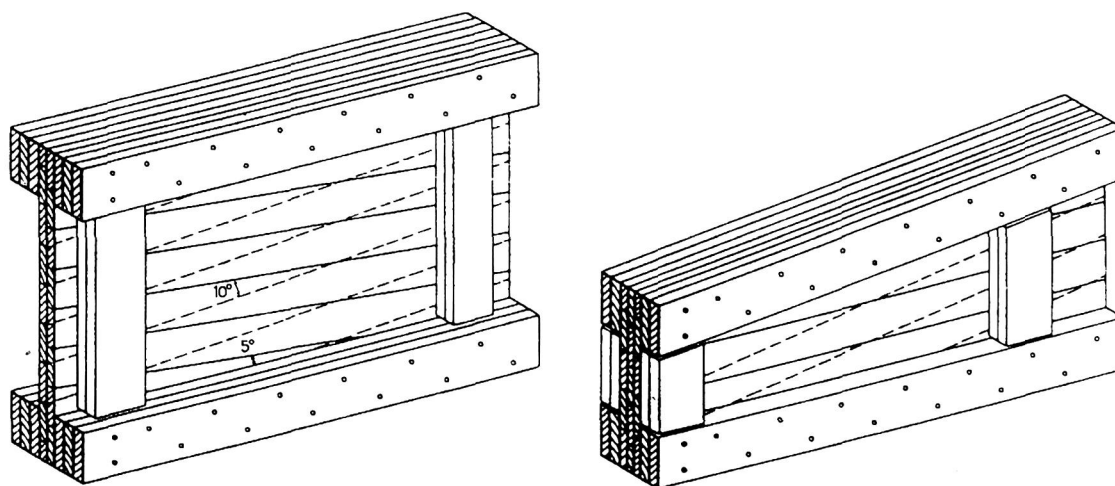


Figura 9
Vigas de alma y alas de madera laminada

sobre ellas láminas fijadas por medio de clavos para asegurar la presión del encolado.

En uno y en otro caso, el alma es reforzada por rigidizadores y, una vez colocadas en la estructura, deberán ser también rigidizadas para soportar esfuerzos horizontales o de viento.

B) Pórticos y arcos

Los pórticos y en especial los arcos o las piezas

curvadas, aparte de resultar muy llamativos, son posiblemente los elementos mas interesantes dentro de las estructuras de madera, resultando vistosos y económicos. Suelen estar laminados horizontalmente y en las zonas curvas es conveniente fijar un radio de curvatura superior a los 5,4 m, para emplear láminas de 34 mm de espesor, con el fin de cumplir la relación $e = R/160$.

1. Viga a dos aguas
2. Soporte
3. Unión por anillo rigidizador

B. Unión rígida

A. Base articulada

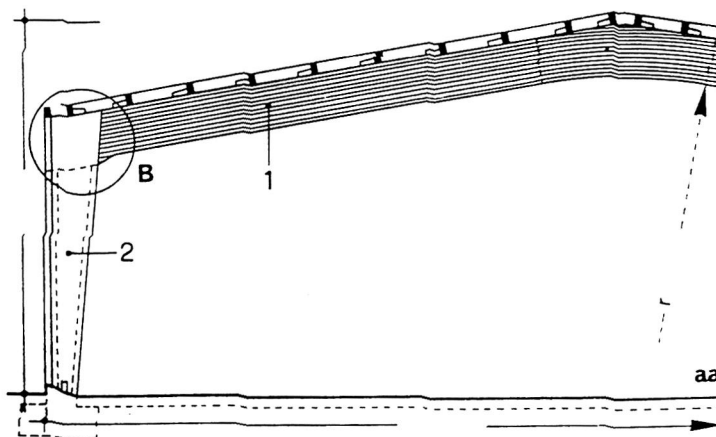
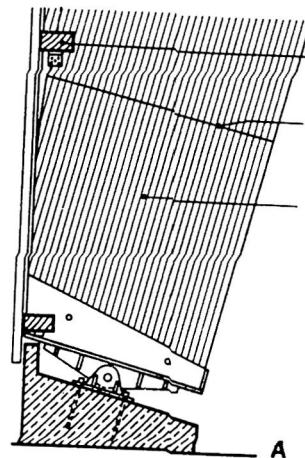
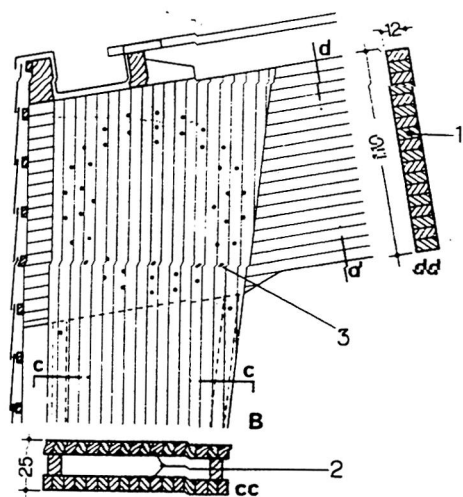


Figura 10
Pórtico bi-articulado

Con esta tipología estructural se superan con facilidad grandes luces, aunque sus ventajas se presentan a partir de los 15 m de luz. En general, tanto pórticos como arcos, suelen hacerse bi-articulados o tri-articulados. Los primeros están constituidos por una viga unida rigidamente a los soportes, estando estos articulados en sus bases. Los momentos de flexión de la viga son transmitidos a los soportes por la unión rígida entre ambos (figura 10).

Los de tres articulaciones son muy útiles desde el punto de vista de su puesta en obra, al estar articulados en los arranques de los soportes (figura 11a) y en la clave (figura 11b). Pero son estructuras isostáticas que deben ser arriostradas.

Por otro lado, aunque los momentos flectores en las articulaciones son nulos, alcanzan sus valores máximos en los ángulos del pórtico, por lo que su esquadría debe adaptarse a los esfuerzos en cada sección, siendo superior en la iniciación del dintel y coronación de pilar y mínima en la clave y arranques.

Naturalmente, con esta disposición todas las secciones intermedias entre clave y arranque están sometidas a compresión excéntrica, por lo que las secciones transversales deben dimensionarse para resistir tales solicitaciones. En arranques y clave el que predomina es el esfuerzo cortante. En la práctica el canto de estas zonas suele estar comprendido entre los 5/8 y los 3/4 del correspondiente a las secciones extremas de la zona curvada, ya que, a veces se alcanzan deformaciones importantes, y además, hay que verificar gran número de secciones intermedias.

Por ejemplo, si existe unión entre soporte y dintel, es necesario comprobar la tracciones transversales en la misma (figura 12a, b y c) y en os casos de piezas curvas, como es el caso de los arcos, las tensiones mas importantes son radiales y se originan en el encolado de las láminas, en las zonas de máxima curvatura (figura 12d).

- a) Angulo por junta encolada.
- b) Angulo por doble junta encolada.
- c) Unión por círculo de broches de seguridad.
- d) Solución curva esquina sin función estática encolada.

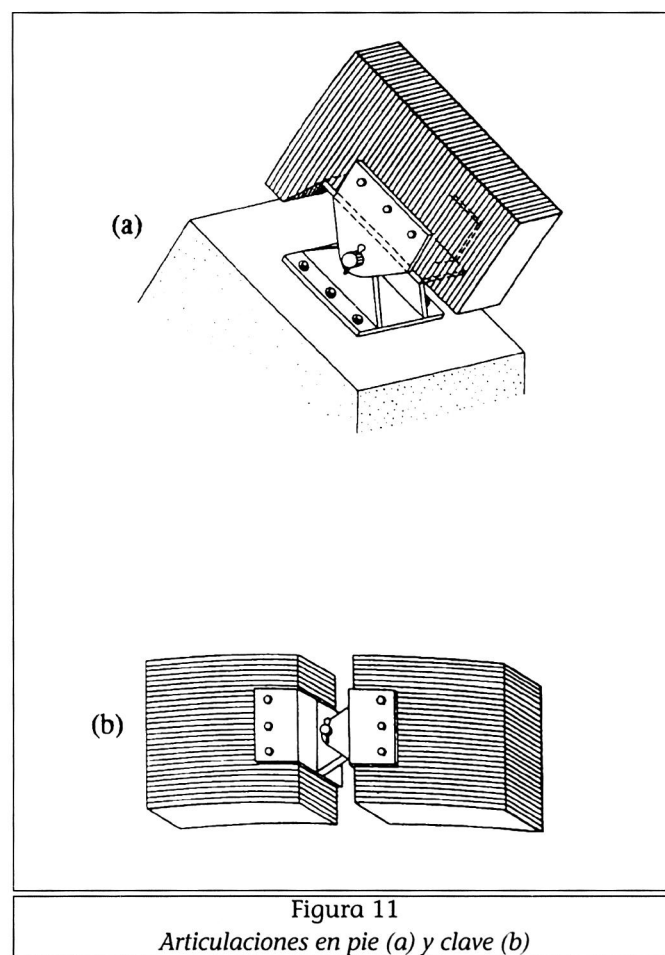
5. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS Y ESPECIALES

A pesar de lo anteriormente expuesto, para las luces del orden de los 30 m, no basta el elemento estructural simple y deben proyectarse sistemas radiales o combinados de entramados que, por otro lado, crean espacios mas expresivos que las soluciones de vigas o de pórticos. Debemos tener en cuenta que para luces de 30 m, las vigas requieren secciones del orden de 2 m de canto. Estas alturas pueden disminuirse gracias al empleo de sistemas hiperestáticos

como vigas continuas o vuelos con tirantes o, como hemos indicado, sistemas multidireccionales.

También los elementos curvos de madera laminada, aunque con un coste ligeramente superior al de una viga recta, permiten una adaptación óptima a la estructura de la techumbre o a las integraciones de iluminación y ventilación natural, pero en ocasiones puede ser interesante el empleo de estructuras espaciales. No debemos olvidar que, en las zonas donde es predominante el empleo de estas estructuras, USA, Canadá, Países Escandinavos, solo las sobrecargas de nieve pueden superar los 1000 kg/m². Las técnicas de construcción en madera han permitido concebir volúmenes y estructuras complejas, en las que las barras se someten a esfuerzos que superan las 400 t. Estos esfuerzos que, puede pensarse, están reservados al acero y al hormigón, han podido ser resueltos con estructuras de madera gracias a las técnicas de encolado que permite concebir secciones de 10 x 120 cm, partiendo de pequeñas secciones de 20 x 60 cm y de planchas intermedias.

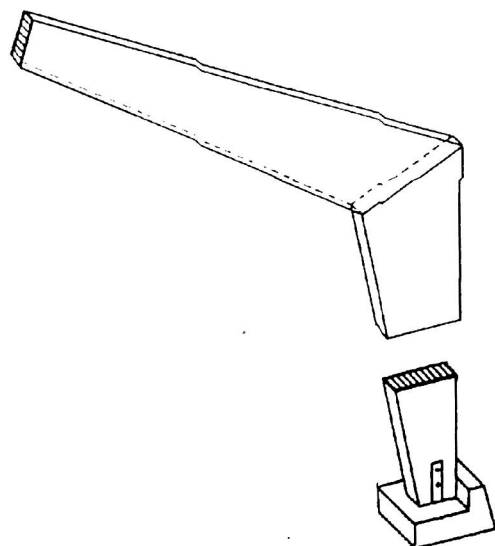
En la construcción tradicional de madera, la realización de los ensambles sometidos a tracción, presentaba múltiples dificultades, al reducir considerablemente las secciones resistentes. Sin embargo las nuevas técnicas de construcción en madera permiten el diseño de estructuras a base de vigas trianguladas, que se solucionan gracias a la realización de



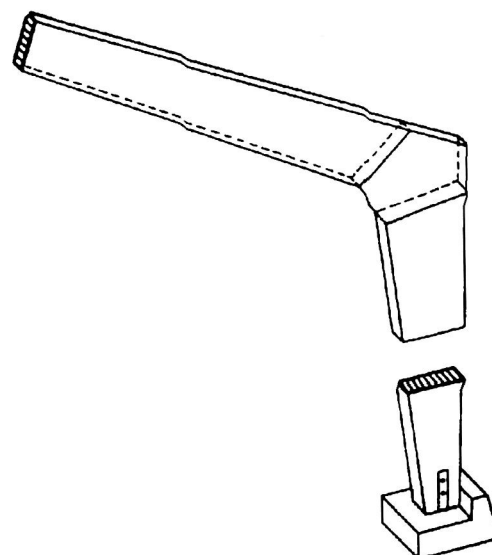
los nudos a tracción, combinando elementos de *madera y de acero y materializando los ensambles* por medio de articulaciones, que permiten al sistema deformarse libremente, sin esfuerzos suplementarios en los nudos (figura 13).

También las estructuras de *cáscaras*, tiene su solución con madera laminada y productos derivados. Estos sistemas, que se utilizan para grandes luces con elementos trabajando a tracción, precisan,

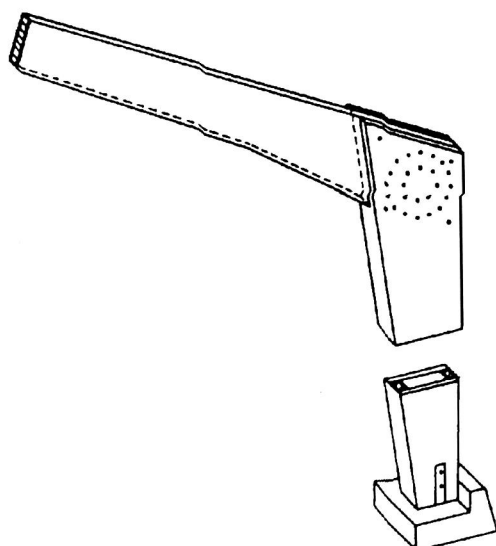
a fin de estabilizar su flexibilidad, medidas suplementarias, a menudo costosas, como el pretensado o procedimientos que aumentan el peso propio de la estructura. Con la madera, en la realización de estas estructuras alabeadas, pueden combinarse las nervaduras de vigas laminadas con las planchas de tableros contrachapados para formar la cubierta, realizando la *unión por simple clavado*, obteniendo una estructura monolítica que resulta, parcial-



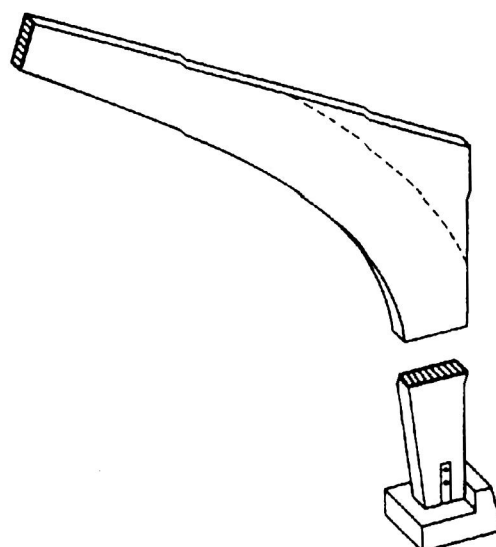
a) Angulo por junta encolada



b) Angulo por doble junta encolada



c) Broche circular de seguridad



d) Solución curva

mente, rígida a la flexión, lo cual permite disminuir considerablemente los esfuerzos de tracción.

Con estos sistemas, se han realizado estructuras que superan los 60 m de luz, en forma de paraboloides hiperbólicos, habiéndose planteado como alternativa a las estructuras en las que la débil resistencia al fuego de los cables de acero permite a la madera mostrar su eficacia mediante concepciones técnicas avanzadas (figura 14).

6. UNIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Una de las funciones primordiales de las uniones entre los diversos elementos que constituyen la estructura es transmitir de forma correcta los esfuerzos entre las diversas piezas o entre estas y sus apoyos. Además, en el caso de las estructuras de madera laminada, deben plantearse con

1. Par (comprimido)
2. Montante (comprimido)
3. Travesaño (comprimido)
4. Tirante en acero
5. Taco en madera dura
6. Anillas
7. Placa de unión
8. Placa de recubrimiento
9. Bulón

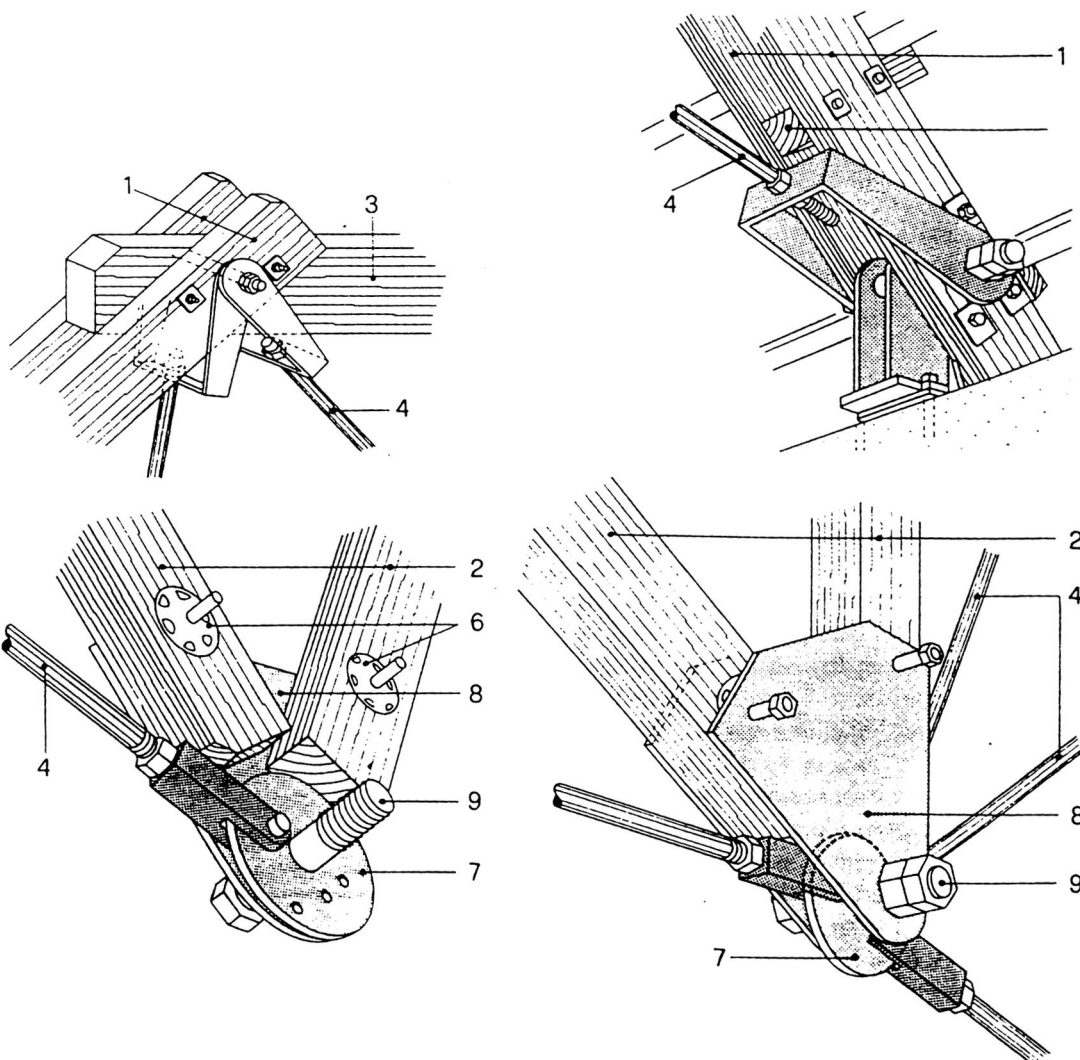
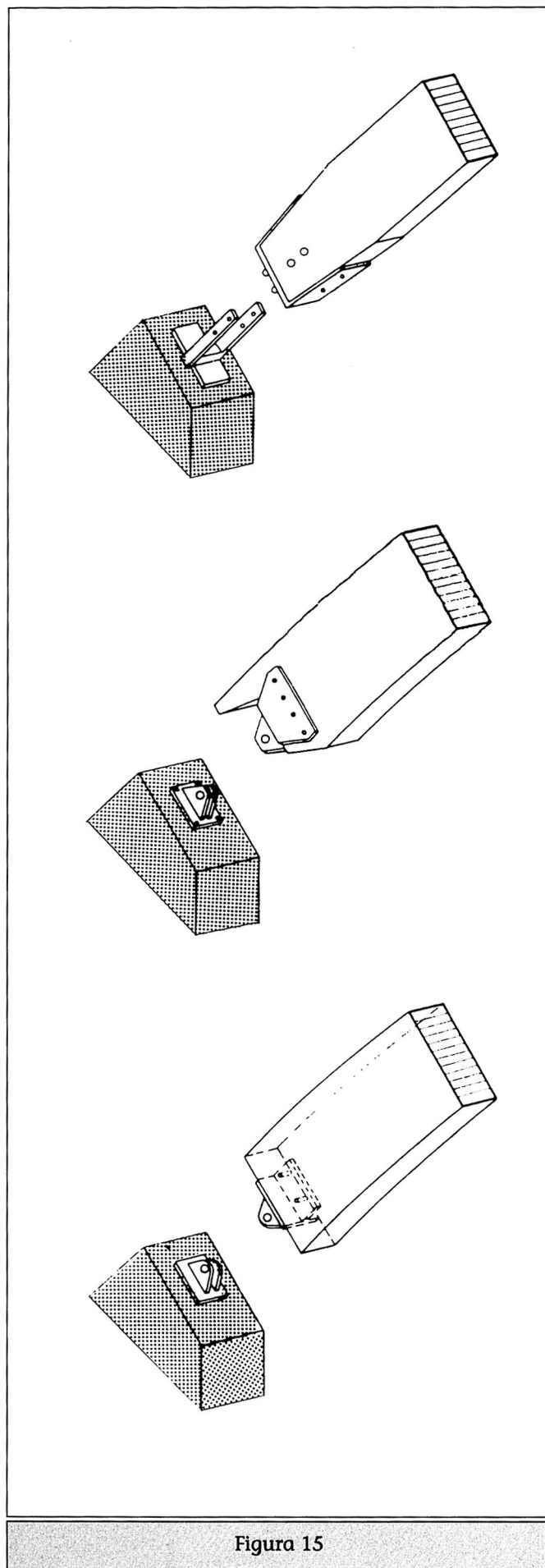
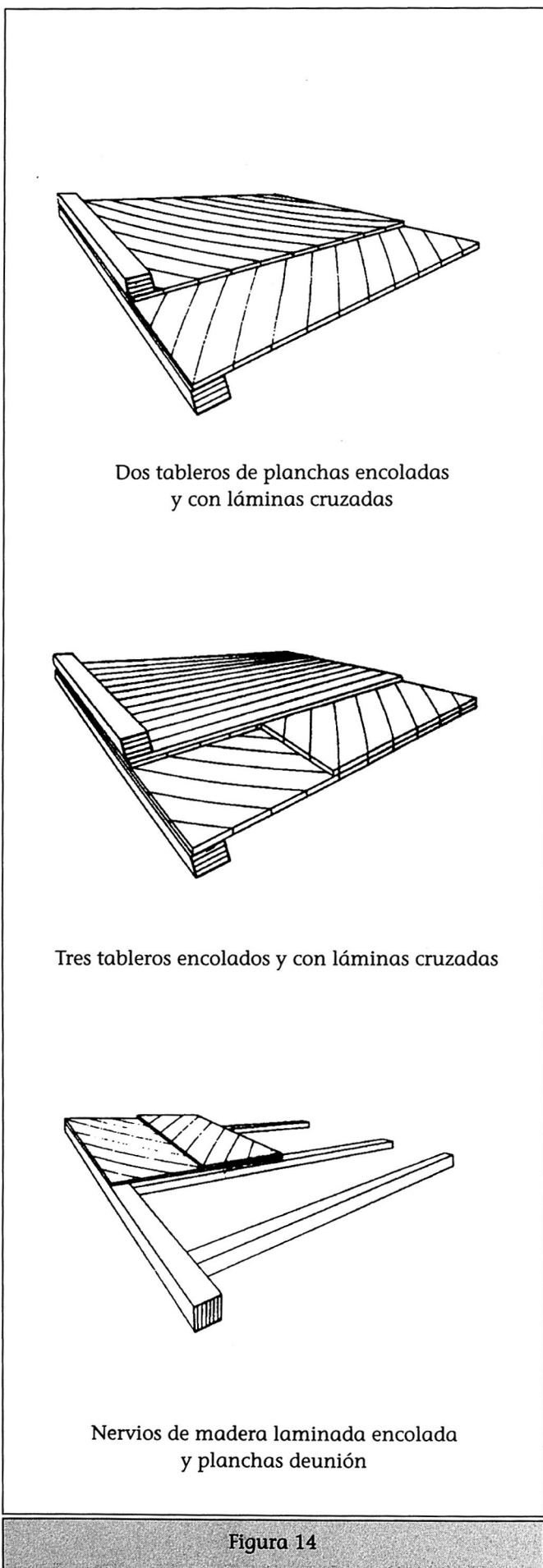


Figura 13



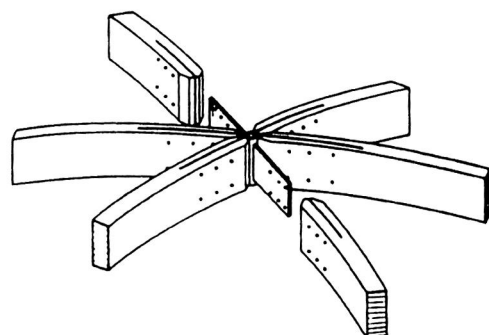
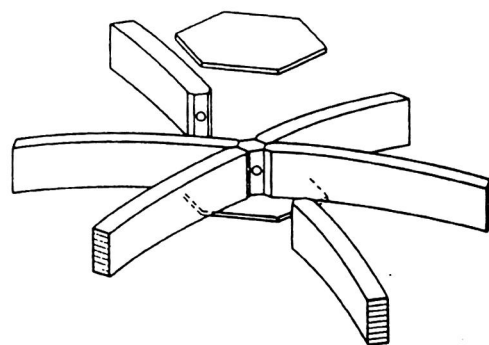
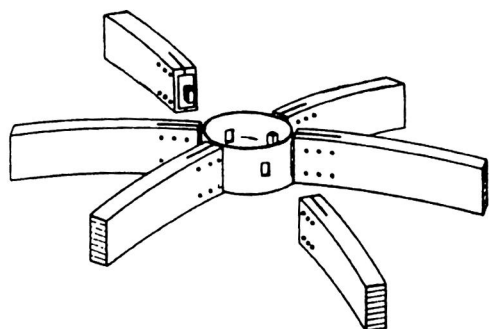


Figura 16

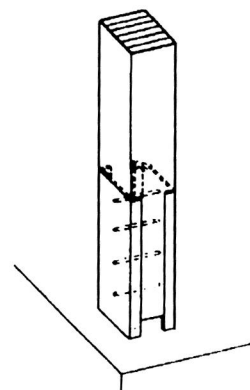
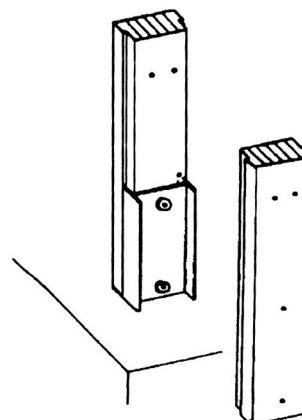
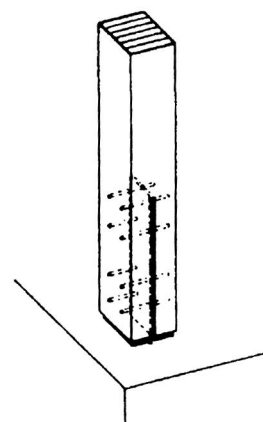


Figura 17

funciones que armonicen con la singularidad de estos elementos.

Por lo general los ensambles entre la madera y las piezas de unión, se realiza con piezas de acero tipo **A42 b** (en las normas francesas se exige cali-

dad igual a superior al **E24**), que están protegidos por galvanización en caliente o pinturas de resinas epoxi. Los bulones de fijación se disponen perpendiculares al eje de la pieza y paralelos a los planos de encolado.

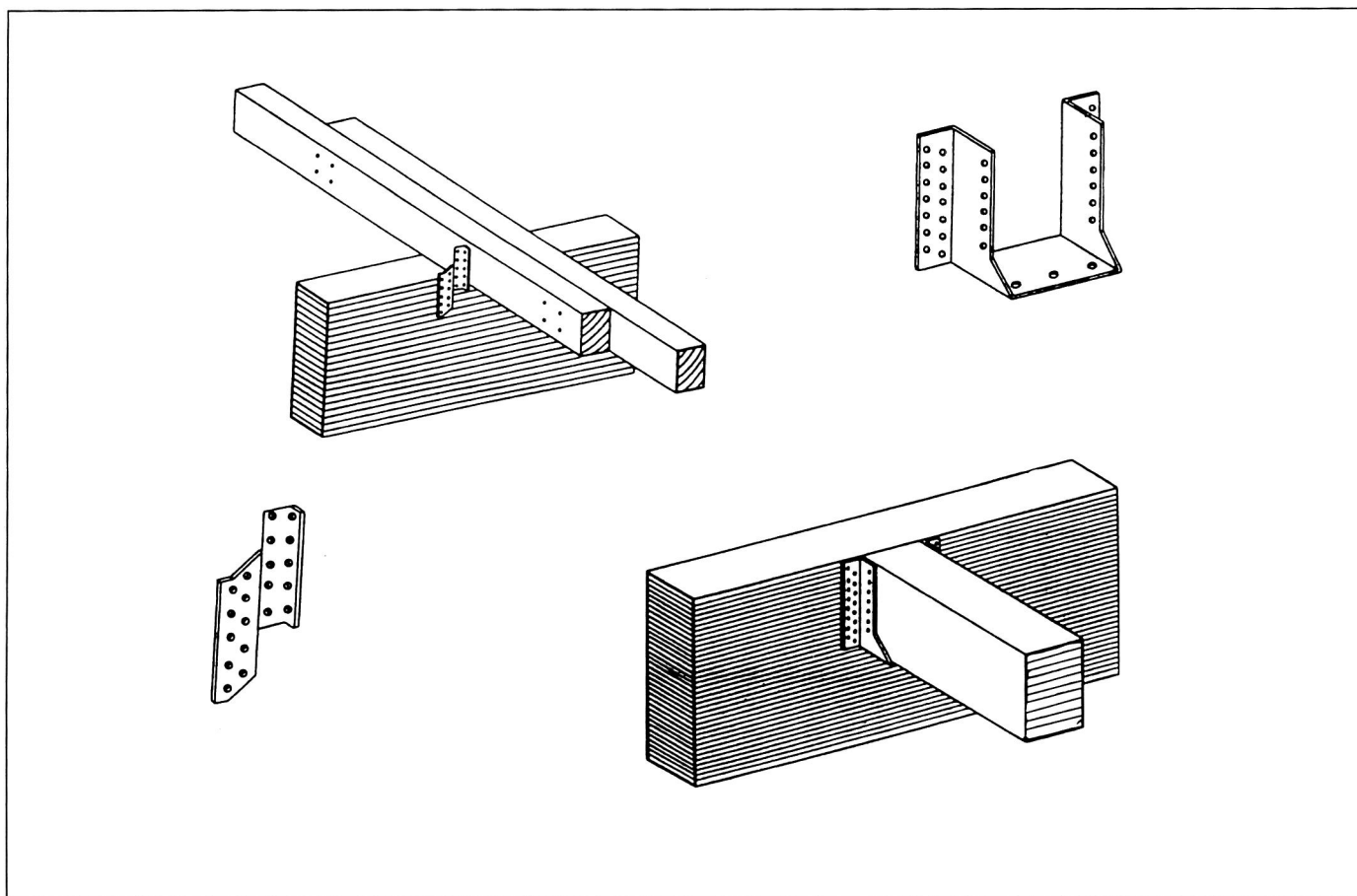
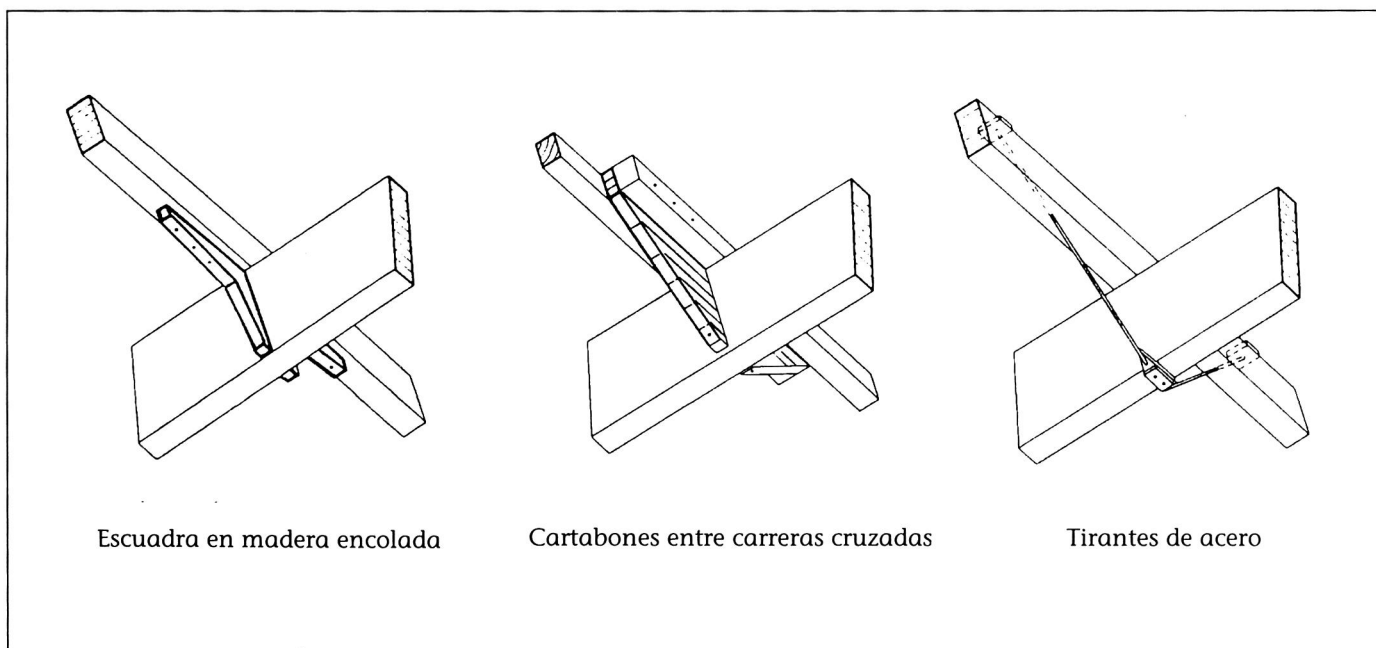


Figura 18
Herrajes de apoyo de correas en las vigas principales



Escuadra en madera encolada

Cartabones entre carreras cruzadas

Tirantes de acero

Figura 19
Vigas principales estabilizadas por las correas

Si la unión debe asegurar una articulación, esta se materializa, por lo general, con dos piezas ensambladas por un eje, cuyo dimensionamiento se efectúa en función de las reglas clásicas de construcción. Pero, en ocasiones puede ser conveniente el buscar una unión rígida, para limitar los deslizamientos donde se produzca un cúmulo de ensambles que puedan perjudicar la estabilidad de la estructura. Esta rigidez se consigue utilizando en la unión un número mayor de bulones de diámetro mas pequeño.

Es normal que las estructuras de madera laminada reposen sobre bases de hormigón armado, siendo muy utilizado el sistema de rótulas obtenidas por medio de piezas de acero unidas por un pasador (figura 15). Esta unión puede llevar o no tirantes, pero recordemos que, en estos casos, las estructuras deben arriostrarse para resistir los esfuerzos horizontales.

También cuando se trata de disposiciones radiales la unión de los elementos se resuelve con piezas de acero en forma de anillo provisto de consolas sobre los que se aseguran las vigas o de ramales de chapa de acero que penetran en las entalladuras previstas en la pieza de madera (figura 16). Una excelente precaución, en este tipo de uniones, es asegurar la transmisión de los esfuerzos por medio de los bulones y los elementos complementarios, sin tener en cuenta los contactos directos entre la madera y el herraje. Es conveniente, además mantener una simetría en los ensambles con respecto al plano medio de cada pieza.

En los pórticos, puede conseguirse el empotramiento de los soportes utilizando placas de acero en los laterales o perfiles en U o doble T (figura 17a), empotrados en la cimentación y teniendo

presente que la pieza de madera no debe contactar con la base. Si se desea ocultar la pieza metálica se realiza una entalladura en el eje del soporte y se fija por pasadores (figura 17b).

La unión de las correas con el dintel, se efectúa con piezas especiales en chapa galvanizada de espesores entre 2 a 4 mm, con forma de **estribo** o escuadras, para el caso de las vigas simplemente apoyadas (figura 18a), anclando el los herrajes los sistemas **contraviento** (figura 18b). Sin embargo, para cubrir grandes espacios puede ser interesante el empleo de correas continuas (utilizando uniones tipo **Cantilever**), en estos casos las vigas principales pueden estabilizarse contra el desplome lateral por medio de las vigas secundarias (figura 19).

BIBLIOGRAFIA

ARGÜELLES ÁLVAREZ, R. y ARRIAGA MARTINEGÜI, F.: *Normas de cálculo de estructuras de madera*. AITIM, Madrid, 1986.

ARRIAGA MARTINEGUI, F.: *Estructuras de madera. Eurocódigo 5: Bases de cálculo. Clasificación de la madera aserrada con uso estructural*. AITIM, 01/1 - 1986.

CHARPENTES EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ. *Guide pratique de conception et de mise en ouvre*. Syndicat National des Constructeurs de Charpentes en Bois Lamellé Collé. Editions Eyrolles, París, 1990.

SANCHEZ MAZAIRO, A.: *La madera laminada encolada*. Fundación Escuela de la Edificación. Madrid, 1992.

